



1

Les centrales électriques

Les centrales électriques ont pour rôle de produire de l'énergie électrique, ou plus exactement de transformer l'énergie primaire en énergie électrique. L'énergie primaire est l'énergie contenue dans une chute d'eau, un tas de charbon, un réservoir de pétrole...

NIVEAU D'EXIGENCE

- Reconnaître le type de centrale.
- Énoncer le principe de fonctionnement, à partir de l'énergie primaire mise en jeu.

SAVOIR

S 1.1 Production.

1 L'énergie électrique

1.1. Les différentes sources de production d'énergie électrique

a) Les différents types de centrales

- **Les centrales hydrauliques** : elles utilisent l'énergie contenue dans une chute d'eau.
- **Les centrales thermiques** : elles exploitent la combustion du charbon ou du pétrole.
- **Les centrales nucléaires** : elles emploient la chaleur produite par un réacteur nucléaire, dont le combustible est de l'uranium.
- **Les centrales éoliennes** : elles exploitent l'énergie du vent, ce sont les moulins à vent modernes !

b) Les sources autonomes d'énergie

- Les groupes de secours (moteurs thermiques entraînant un alternateur).
- Les piles et les accumulateurs.
- Les capteurs solaires.
- Les piles à combustibles.
- Les sources autonomes seront étudiées en terminale BEP.

1.2. Quantité d'énergie

L'unité de quantité d'énergie électrique est le wattheure. On utilise le plus souvent le kilowattheure.

1 kilowattheure (1 kWh) = 1 000 wattheures (Wh)

Un radiateur électrique d'une puissance de 1 000 W, ou 1 kW, qui fonctionne pendant 1 heure, consomme une énergie de 1 kWh.

En France, on a consommé 490 milliards de kWh en l'an 2000. Cette énergie a été produite principalement par des centrales électriques selon la répartition ci-contre (**fig. 1**).

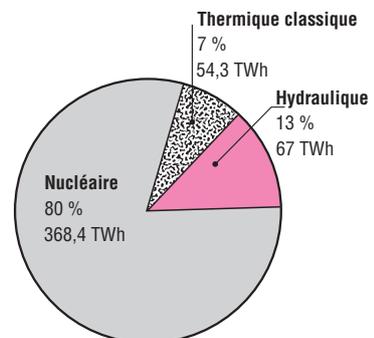


Fig. 1 : Répartition des différentes sources d'énergie pour la production d'électricité.

2 Centrales hydrauliques

Dès l'Antiquité, on a utilisé l'énergie des chutes d'eau pour entraîner des moulins. Il a fallu attendre le XIX^e siècle pour que le Français B. Fourneyron (1802-1867) utilise la pression de l'eau avec des turbines.

2.1. Principe de fonctionnement

L'énergie hydraulique est transformée en énergie mécanique, par une turbine qui entraîne un alternateur, lequel produit de l'électricité.

La puissance P que met en jeu une chute d'eau, d'une hauteur h et d'un débit q , est donnée par la formule :

$$P = g \times q \times h$$

avec P : en kilowatts ; $g = 9,81$; q : en mètres-cubes par seconde (m^3/s) ; h en mètres.

2.2. Les différentes centrales hydrauliques

On classe les centrales hydrauliques en 3 catégories.

a) Les hautes chutes : $h > 200$ m

Les centrales de haute chute sont caractérisées par une forte hauteur de chute ($h > 200$ m). L'usine est toujours située à une distance importante de la prise d'eau (parfois plusieurs kilomètres). Les turbines utilisées sont de type Pelton.

b) Les moyennes chutes : 30 m $< h < 200$ m

Les centrales électriques de moyenne chute sont disposées immédiatement en aval du barrage (fig. 3), et, le plus souvent, elles sont implantées dans le barrage. Elles utilisent des turbines de type Francis.

c) Les basses chutes : $h < 30$ m

On les appelle aussi centrales au fil de l'eau (fig. 2). Elles sont construites sur un canal de dérivation, ou dans le lit d'un cours d'eau. Elles sont caractérisées par une faible chute, et un débit important. Elles utilisent des turbines en forme d'hélice, de type Kaplan.

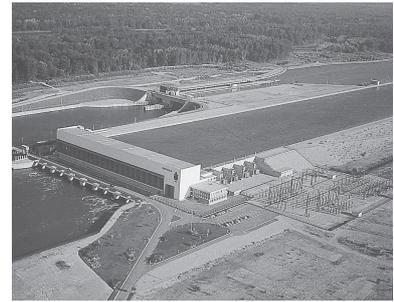


Fig. 2 : Centrale de basse chute : Rhinau (doc. EDF).

Exemples :

Centrale du Mont Cenis (Frontière France-Italie)

- Capacité de la retenue : 270×10^6 m³.
- Hauteur de chute : 882 m.
- Débit : 51 m³/s.
- Deux groupes turbine Pelton-alternateur de 200 MVA.

Centrale de Serre-Ponçon

- Sur la Durance.
- Capacité de la retenue : $1\,270 \times 10^6$ m³.
- Hauteur de chute entre 128 m et 65 m.
- Débit : 1 200 m³/s.
- Quatre ensembles turbine-alternateur de puissance 90 000 kVA – 214 tr/min.

Centrale de Rhinau-sur-le-Rhin

- Hauteur de chute de 5 à 15 m.
- Débit maxi d'évacuation : 5 000 m³/s ; par groupe : 350 m³/s.
- Quatre groupes turbine Kaplan alternateur de 42 000 kVA chacun, vitesse 75 tr/min.

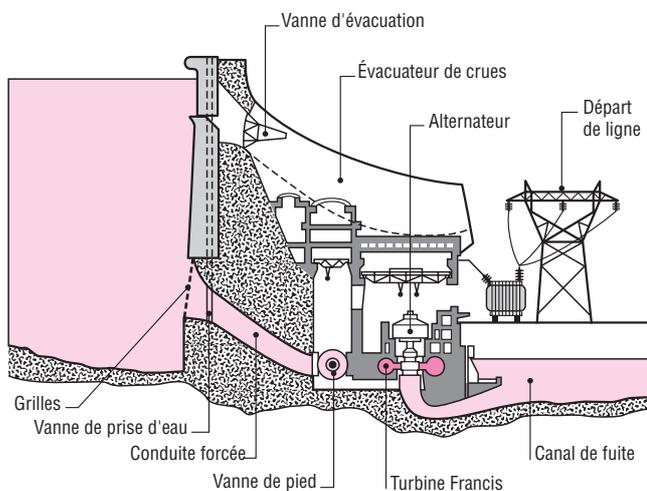


Fig. 3 : Disposition d'une centrale hydroélectrique de moyenne chute.



3 Centrales thermiques à flamme

3.1. Principe de fonctionnement

Une centrale thermique à flamme produit de l'électricité, en brûlant un combustible (charbon, gaz, ou fioul) dans une chaudière qui produit de la vapeur. Cette vapeur actionne une turbine qui entraîne un alternateur.

3.2. Disposition d'une centrale thermique

L'implantation des différents éléments est donnée ci-dessous (fig. 5).

a) Générateur de vapeur

L'eau circule dans les tubes tapissant les parois de la chambre de combustion et se transforme en vapeur sous l'action de la chaleur dégagée par le combustible.

b) Turbines

L'eau chimiquement pure circule sous forte pression dans les tubes du générateur de vapeur (163 bars) et se transforme en vapeur à une température de 565 °C.

Cette vapeur surchauffée et à haute pression se détend dans la turbine haute pression, puis elle retourne dans un réchauffeur, pour aller ensuite dans les turbines moyenne et basse pressions où elle se détend.

À la sortie des turbines, la vapeur à très basse pression se condense pour se retrouver à l'état liquide dans les condenseurs. Cette eau est injectée ensuite dans le réservoir du générateur de vapeur, et le cycle recommence, toujours avec la même eau.

Les centrales thermiques possèdent un grand nombre d'auxiliaires qui sont indispensables pour un fonctionnement optimal de la centrale thermique, et dont la consommation d'énergie est loin d'être négligeable.



Fig. 4 : Centrale thermique du Bec d'Ambès près de Bordeaux (doc. EDF).

Exemples :

Caractéristiques d'une unité de 600 MW

Générateur de vapeur :

– Capacité de production 1 800 t/h de vapeur.

– Surchauffeur température de sortie : 565 °C.

– Pression de sortie : 163 bars.

Turbine :

Elle comprend sur une même ligne d'arbre :

– un corps haute pression (HP) ;

– un corps moyenne pression (MP) ;

– un corps basse pression.

Alternateur :

– Puissance : 600 MW ; tension 20 kV triphasée.

– Vitesse : 3 000 tr/min ; courant nominal : 19 000 A.

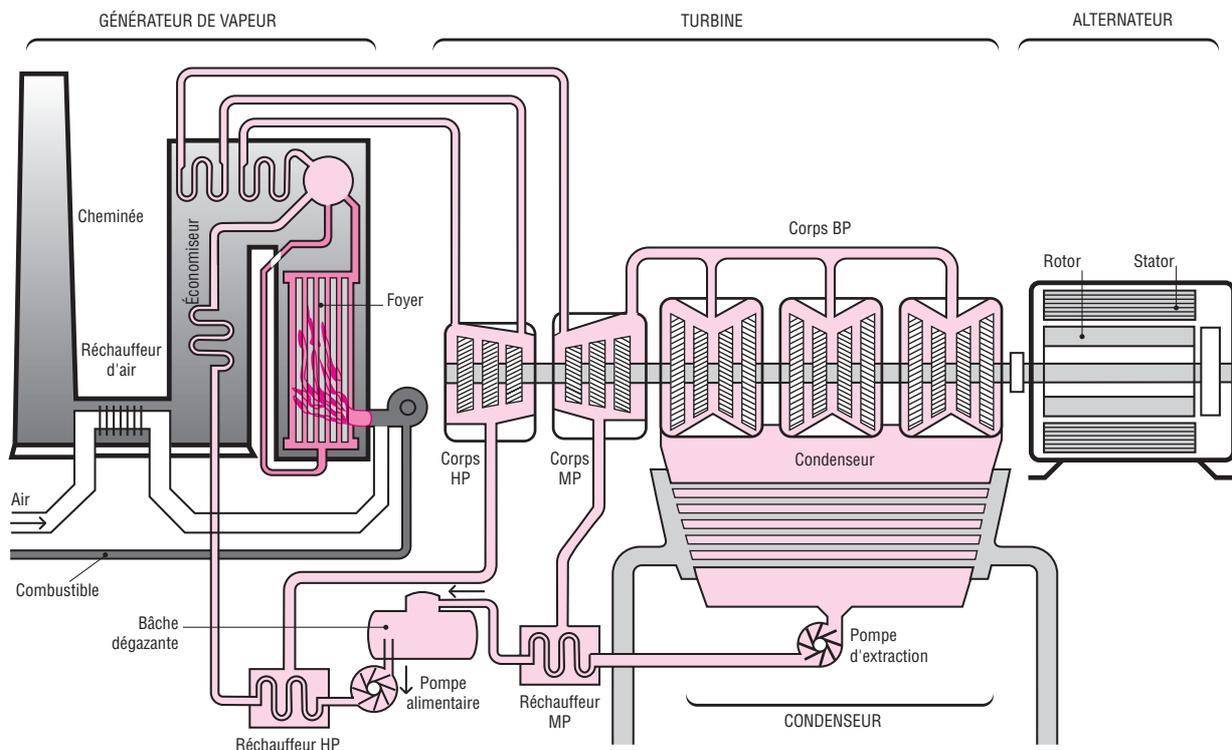


Fig. 5 : Implantation des différents éléments d'une centrale thermique classique, ou à flamme.

4 Centrales thermiques nucléaires

Les progrès réalisés dans la connaissance de la structure de la matière, la demande importante en énergie, et la faiblesse des ressources françaises en énergie primaire, ont contribué au développement de l'énergie nucléaire en France.

4.1. Principe de fonctionnement

Dans les centrales nucléaires, on a remplacé les brûleurs de combustibles, charbon ou fuel-oil, par des réacteurs (fig. 6).

À l'intérieur du réacteur, l'uranium 235 est le siège d'une réaction nucléaire qui produit une grande quantité de chaleur. Cette chaleur est continuellement évacuée hors du réacteur vers un échangeur de chaleur, grâce à un fluide dit « caloporteur ».

L'échangeur transfère la chaleur qui lui vient du réacteur, à un circuit eau-vapeur analogue à celui d'une centrale thermique classique. La vapeur produite sous forte pression entraîne un groupe turbo-alternateur, puis se condense dans un condenseur, et elle est ensuite réinjectée dans l'échangeur.

4.2. Disposition d'une centrale nucléaire

Les centrales construites en France sont à uranium enrichi du type PWR.

PWR : Pressurized Water Reactor – Réacteur à eau sous pression.

Elles utilisent de l'uranium enrichi à 3 % (fig. 7).

Le fluide caloporteur est de l'eau bouillante sous forte pression qui refroidit le réacteur et transmet sa chaleur dans l'échangeur (circuit en orange foncé).

L'échangeur reçoit de l'eau réchauffée qui, transformée en vapeur, entraîne les turbines. Dans ce type de réacteur, l'eau ordinaire sert à la fois de modérateur et de fluide de refroidissement.

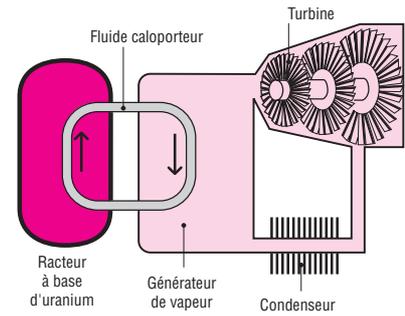


Fig. 6 : Schéma de principe de fonctionnement d'une centrale thermique nucléaire.

Exemples :

Caractéristiques d'une centrale PWR de 1 300 MW

Réacteur :

- Puissance thermique nominale : 3 800 MW.
- Pression nominale : 155 bars.
- Débit nominal : 93 000 m³/h.
- Température entrée/sortie de cuve : 293/328 °C.

Générateur de vapeur :

- Puissance nominale : 1 354 MW.
- Température entrée eau alimentation : 230 °C.
- Température sortie vapeur : 287 °C.
- Pression de vapeur : 71 bars.

Turbines :

- Vitesse de rotation : 1 500 tr/min.

Alternateur :

- Puissance nominale : 1 300 MW.
- Tension de sortie : 20 kV.

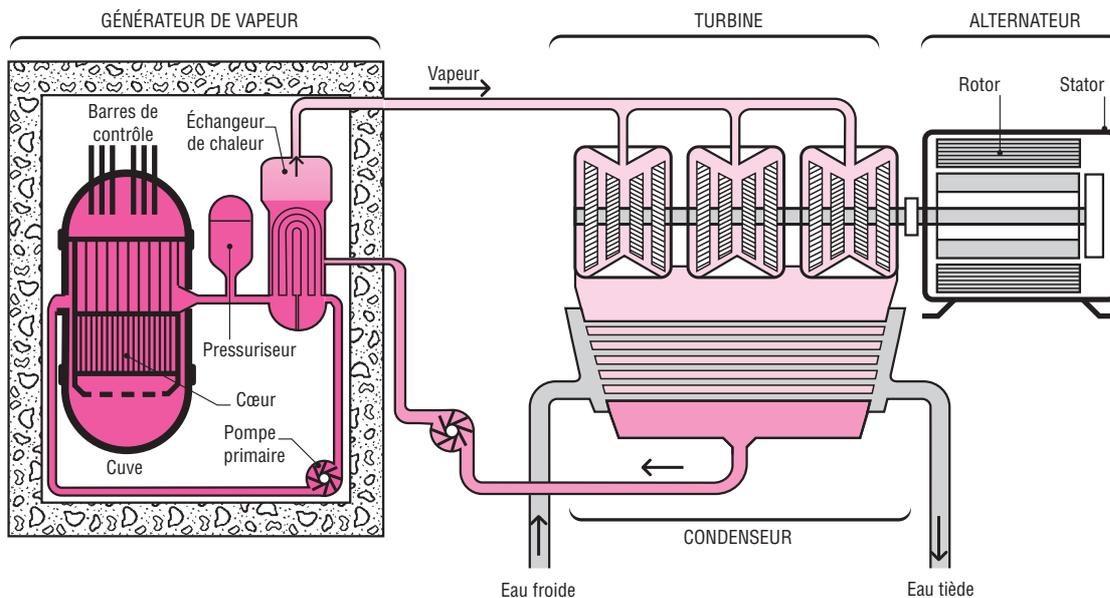


Fig. 7 : Disposition des éléments d'une centrale nucléaire de type PWR.

L'essentiel

■ Les énergies primaires utilisées pour produire de l'électricité sont l'énergie hydraulique, le charbon, le gaz naturel, le pétrole et l'énergie nucléaire. L'électricité est une énergie secondaire, produite à partir des énergies primaires. On distingue trois grandes familles de centrales électriques : hydrauliques, thermiques et nucléaires.

■ Les **centrales hydrauliques** sont classées en trois types : centrales de hautes chutes ($h > 200$ m), centrales de moyennes chutes ($30 \text{ m} < h < 200$ m) et centrales de basses chutes ($h < 30$ m).

Les barrages constituent une réserve d'énergie, ou énergie potentielle. L'eau sous pression actionne les turbines avec une puissance P (en kW), donnée par la formule : $P = g \times q \times h$ avec P : en kW ; $g = 9,81 \text{ m/s}^2$; q : en m^3/s ; h : en mètres.

■ Les **centrales thermiques** brûlent du charbon pour obtenir de la vapeur, qui entraîne des groupes turbo-alternateurs. La puissance d'une unité est de 600 MVA, les groupes tournent à 1 500 ou 3 000 tr/min.

■ Les **centrales nucléaires** produisent actuellement 80 % de l'énergie électrique ; elles sont du type PWR (eau sous pression). La réaction nucléaire est réalisée à partir d'uranium enrichi à 3 % en uranium 235, qui est fissile. Le générateur de vapeur produit de la vapeur à 280 °C, qui entraîne un groupe turbo-alternateur de 900 ou 1 300 MVA à 1 500 tr/min.

VRAI OU FAUX ?

Exercices

Parmi les affirmations suivantes, indiquez celles qui sont vraies.

1. Une centrale hydraulique qui présente une hauteur de chute de 250 m est une centrale de basse chute.
2. Une centrale hydraulique qui présente une hauteur de chute de 37 m est une centrale de moyenne chute.
3. Une centrale hydraulique qui présente une hauteur de chute de 25 m est une centrale de basse chute.
4. Les centrales hydrauliques de moyenne chute sont équipées de turbines Pelton.
5. Les centrales hydrauliques de haute chute sont équipées de turbines Kaplan.
6. Les centrales hydrauliques de basse chute sont équipées de turbines Francis.
7. La puissance d'une centrale électrique dépend de la hauteur de chute.
8. La puissance d'une centrale hydroélectrique dépend de la température de l'eau.
9. Une centrale thermique utilise comme combustible du charbon.
10. Une centrale thermique à flamme utilise comme combustible de l'uranium.
11. Dans une centrale thermique classique, la température de la vapeur est au maximum de 100 °C.
12. Dans une centrale thermique classique, la pression de la vapeur est au maximum de 163 bars.
13. La vitesse de rotation d'un alternateur de centrale thermique est de 150 tr/min.
14. Le refroidissement de la vapeur pour la transformer en eau s'effectue dans un condensateur.
15. Le courant fourni par un alternateur de 600 MVA, sous 20 000 V, est de 19 000 A.
16. Dans une usine d'incinération d'ordures ménagères, on peut produire de l'électricité.
17. Une centrale type PWR est une centrale qui utilise comme combustible du Pétrole Watt Radioactif.
18. Dans une centrale nucléaire, on utilise de l'uranium enrichi à 80 %.
19. Le transfert de la chaleur produite par le réacteur nucléaire vers l'échangeur s'effectue par de l'huile.
20. C'est dans une centrale nucléaire que la température est la plus élevée.

RÉSOLUS

Exercices

1. La centrale de Serre-Ponçon possède quatre groupes turbine-alternateurs. Chaque groupe reçoit un débit de $75 \text{ m}^3/\text{s}$, avec une hauteur de chute de 120 m. Le rendement de l'ensemble turbine-alternateur est de 0,85. Calculer :

- a) la puissance de la chute,
- b) la puissance fournie au réseau.

Solution : a) La puissance de la chute est donnée par la relation :

$$P = g \times q \times h = 9,81 \times 75 \times 120 = 88\,290 \text{ kW.}$$

b) La puissance fournie au réseau par les quatre groupes est de :

$$P_{\text{totale}} = 4 \times 88\,290 \times 0,85 = 300\,186 \text{ kW}$$

soit 300 MW.

2. La puissance installée dans une centrale nucléaire est de quatre groupes de 900 MVA, sachant que ces groupes fonctionnent 80 % du temps.

- a) Pendant combien d'heures ces groupes fonctionnent-ils dans l'année ?
- b) Quelle quantité d'énergie cette centrale fournit-elle ?

Solution :

a) Calcul du nombre d'heures de fonctionnement
Dans une année, il y a :

$$24 \text{ h} \times 365 \text{ j} = 8\,760 \text{ h}$$

à 80 % du temps, cela fait :

$$8\,760 \times 0,80 = 7\,008 \text{ h.}$$

b) Quantité d'énergie fournie en 1 an
Les quatre groupes fournissent chaque heure :

$$W = P \times t = 4 \times 900\,000 \text{ kW} \times 1 \text{ h} = 3\,600\,000 \text{ kWh.}$$

Sur 1 an, la quantité d'énergie fournie est de :

$$3\,600\,000 \times 7\,008 \text{ h} = 25\,228\,800 \text{ kWh}$$

soit :

$$25,2288 \times 10^6 \text{ kWh.}$$

À RÉSOUDRE

Exercices

1. La centrale de Génissiat possède six groupes turbo-alternateurs.

Chaque groupe reçoit un débit de $90 \text{ m}^3/\text{s}$, avec une hauteur de chute de 70 m. Le rendement de l'ensemble turbine-alternateur est de 0,85. Calculer :

- a) la puissance de la chute sur chaque turbine ;
- b) la puissance fournie au réseau par l'ensemble des groupes.

2. La centrale de Grand-Maison possède quatre groupes turbine-alternateurs. Chaque groupe reçoit un débit de $19,5 \text{ m}^3/\text{s}$ avec une hauteur de chute de 918 m. Le rendement de l'ensemble turbine-alternateur est de 0,90. Calculer :

- a) la puissance de la chute sur chaque turbine ;
- b) la puissance fournie au réseau par l'ensemble des groupes.

3. Dans la centrale de Donzère-Mondragon, on relève que les six groupes turbine-alternateurs (turbines Kaplan) tournent à 107 tr/min. La hauteur de chute est de 26 m et le débit pour chaque groupe de $255 \text{ m}^3/\text{s}$ (rendement 0,85).

Quelle est la puissance débitée à pleine charge sur le réseau par cette centrale ?

4. La puissance installée dans une centrale nucléaire est de deux groupes de 1 300 MVA, sachant que ces groupes fonctionnent 80 % du temps.

- a) Pendant combien d'heures ces groupes fonctionnent-ils dans l'année ?
- b) Quelle quantité d'énergie cette centrale fournit-elle ?